饲粮添加不同水平果胶寡糖螯合锌对肉仔鸡生长性能、免疫功能和血清抗氧化功能的影响

王中成[1] 吴学壮[2] 崔 虎[1] 万春孟[1] 张铁涛[3] 彭 晴[1] 于会民[1*] 高秀华[1*]

（1.中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点实验室，北京 100081；2.遵义师范学院农业科技学院，遵义 563002；3.中国农业科学院特产研究所，长春 130112）

摘 要：本试验旨在研究饲粮添加不同水平果胶寡糖螯合锌（zinc-pectic oligosaccharide chelate，Zn-POS）对爱拔益加（AA）肉仔鸡生长性能、免疫功能和血清抗氧化能力的影响。选用 1 日龄健康、体况较一致的 AA 肉仔鸡 480 只（公母各占 1/2），根据体重一致原则随机分为 5 组，每组 6 个重复，每个重复 16 只鸡。其中Ⅰ组为基础饲粮组；Ⅱ组为抗生素组，在基础饲粮中添加 62.5 mg/kg 黄霉素；Ⅲ、Ⅳ和Ⅴ组为 Zn-POS 组，在基础饲粮中分别添加 300、600 和 900 mg/kg Zn-POS。试验期 42 d。结果表明：1）1~21 日龄，与Ⅰ组相比，Ⅲ、Ⅳ组平均日增重显著提高（P<0.05）；与Ⅱ组相比，Ⅲ、Ⅳ组体重显著提高（P<0.05）。22~42 日龄，与Ⅰ组相比，Ⅲ、Ⅳ组平均日增重显著提高（P<0.05），Ⅳ组平均日采食量显著提高（P<0.05）。1~42 日龄，与Ⅰ组相比，Ⅳ组平均日增重极显著提高（P<0.01），Ⅲ、Ⅴ组平均日增重显著提高（P<0.05），Ⅳ组平均日采食量显著提高（P<0.05）；Ⅱ组平均日增重极显著高于Ⅰ组（P<0.01）。2）Ⅱ组法氏囊指数显著高于Ⅰ组（P<0.05），但Ⅱ组血清中免疫球蛋白 G 水平显著低于Ⅰ组（P<0.05）。3）Ⅲ组血清总超氧化物歧化酶活性极显著高于Ⅰ组（P<0.01），Ⅲ、Ⅴ组血清过氧化氢酶活性显著高于Ⅰ组（P<0.05）；Ⅳ、Ⅴ组血清丙二醛含量显著低于Ⅲ组（P<0.05）。由此可见，饲粮中添加 Zn-POS 能改善 1~42 日龄 AA 肉仔鸡生长性能、免疫功能和血清抗氧化功能，以 600 mg/kg 添加水平较为适宜。

关键词：果胶寡糖螯合锌；生长性能；免疫功能；血清抗氧化功能；AA 肉仔鸡

中图分类号：S816.7 文献标识码：A 文章编码：1006-267X（2016）00-0000-00

随着健康意识的提高，人们对果胶寡糖等益生元的研究越来越广、越来越深。果胶寡糖又称寡聚半乳糖醛酸[1]，也称果胶低聚糖[2]，是 1981 年在植物中发现的由 2~20 个半乳糖醛酸通过 α-1,4 键连接而成的一种功能性低聚糖[3]，部分半乳糖醛酸以甲酯化的形式存在[4]，呈白色固体粉末，易溶于水，微溶于乙醇[1]。Garthoff 等[5]的埃姆斯试验研究结果证明果胶低聚糖没有遗传毒性，在食品应用中具有良好的安全性。Fanaro 等[6]将果胶低聚糖添加至奶粉中以评价其作为食品添加剂的安全性。Olano-Martin 等[7]研究发现果胶寡糖在体外可以很好地被双歧杆菌利用，也可以保护 HT29 大肠细胞不受大肠杆菌 O157：H7 分泌的类毒素（VT）的侵袭。Rhoades 等[8]的研究结果也

收稿日期：2015－12－22

基金项目：公益性行业科研专项“饲料中抗生素替代品关键研究与示范”（201403047）；“948”重点项目“低碳氮”排放的饲料高效利用技术引进与开发（2011-G7）；果胶寡糖及其络合物创新与应用（2014EG134239）

作者简介：王中成（1990－），男，四川达州人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail：617523698@qq.com

*通信作者：于会民，研究员，E-mail：yuhuiming@caas.cn；高秀华，研究员，博士生导师，E-mail：gaoxiuhua@caas.cn

表明 pH 为 7.2、浓度为 2.5 mg/mL 的寡聚半乳糖醛酸可以明显抑制肠出血性大肠杆菌和肠致病性大肠杆菌的吸附。Thomassen 等[9]的试管培养结果表明，果胶寡糖有比果寡糖更好的双歧效果。Nakanishi 等[10]在小鼠饲粮中添加果胶寡糖发现，矿物元素利用率可提高 3 倍左右。孙丽娜[11]的研究表明，添加寡聚半乳糖醛酸铜螯合物对小鼠生长的促进效果是添加 Cu^{2+}的 4 倍，且添加寡聚半乳糖醛酸铜螯合物对减少小鼠肝脏、血液和粪便中的 Cu^{2+}含量效果显著。Gullón 等[12]的研究结果表明果胶寡糖能够促进有益菌的生长和产生短链脂肪酸。而短链脂肪酸能够降低肠道 pH，可以提高矿物质的溶解性，从而促进肠道矿物质的吸收[13-14]。

锌是畜禽体内最重要的微量元素之一，广泛参与动物体的消化代谢，具有多种生理功能。Feng 等[15]研究表明，饲粮中添加甘氨酸螯合锌能增加肉鸡采食量，提高其生长性能，同时提高肉鸡血清中免疫球蛋白 A（IgA）、免疫球蛋白 M（IgM）和免疫球蛋白 G（IgG）的水平，增加免疫器官指数。蒋宗勇等[16]研究结果表明，饲粮中总锌的含量能显著影响黄羽肉仔鸡的免疫器官指数，且饲粮中总锌水平为 65 mg/kg 时，肉仔鸡的法氏囊指数、胸腺指数和脾脏指数最大。田丽娜等[17]和刘西萍等[18]研究发现，饲粮中添加纳米氧化锌能显著或极显著提高肉仔鸡血清中总抗氧化能力，减少血清中一氧化氮生成。由此可知，饲粮中添加锌可在一定程度上降低自由基的产生，提高肉鸡的生长性能、免疫性能，增强抗氧化酶活性，提高肉仔鸡血清的抗氧化性能。

果胶寡糖螯合锌（zinc-pectic oligosaccharide chelate，Zn-POS）是果胶寡糖与无机锌的螯合物。目前，Zn-POS 对肉仔鸡影响的研究未见报道。有研究表明寡糖螯合锌既能发挥寡糖的抗菌作用，又能提高锌的吸收利用率，包括壳聚糖螯合锌、甘露寡糖螯合锌等[18]。因此，本试验旨在研究 Zn-POS 添加水平对爱拔益加（AA）肉仔鸡生长性能、免疫功能和血清抗氧化能力的影响，为 Zn-POS 在肉仔鸡生产上的应用提供参考。

1　材料与方法

1.1　试验动物与分组设计

本试验在中国农业科学院饲料研究所南口中试基地进行。采用单因素完全随机试验设计，选用 1 日龄健康、体况较一致的 AA 肉仔鸡 480 只（公母各占 1/2），根据体重一致原则随机分为 5 组，每组 6 个重复，每个重复 16 只鸡。试验用 Zn-POS 由中国农业科学院饲料研究所提供，纯度≥95%，锌含量为 7%，络合度≥96%。试验期 42 d。试验鸡采用高床平养，自由采食和自由饮水，按常规免疫程序免疫。

1.2　基础饲粮组成及试验设计

试验采用玉米、豆粕、大豆油和鱼粉等原料参照 AA 肉仔鸡饲养标准营养需要配制基础饲粮。基础饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of basal diets （air-dry basis）　　%

项目 Items	1~21 日龄 1 to 21 days of age	22~42 日龄 22 to 42 days of age

原料 Ingredients		
玉米 Corn	56.26	60.87
大豆油 Soybean oil	0.81	1.12
豆粕 Soybean meal	36.15	32.67
鱼粉 Fish meal	3.00	1.50
石粉 Limestone	0.63	0.69
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.82	1.80
DL–蛋氨酸 *DL*-Met	0.03	0.05
食盐 NaCl	0.30	0.30
预混料 Premix[1)]	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]		
代谢能 ME/（MJ/kg）	12.13	12.35
粗蛋白质 CP	20.30	20.00
钙 Ca	0.91	0.85
有效磷 AP	0.48	0.43
赖氨酸 Lys	1.19	1.05
蛋氨酸 Met	0.33	0.32
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.68	0.65
锌 Zn/（mg/kg）	80	80

1) 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 10 000 IU，VD_3 2 500 IU，VE 15 mg，VK_3 3 mg，VB_1 0.01 mg，烟酸 nicotinic acid 34 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 12 mg，叶酸 folic acid 0.5 mg，生物素 biotin 0.2 mg，氯化胆碱 choline chloride 1 200 mg，Fe （as ferrous sulfate） 80 mg，Cu （as copper sulfate） 8 mg，Zn 80 mg，Mn （as manganese sulfate） 100 mg，I （as potassium iodide） 0.7 mg，Se （as sodium selenite） 0.3 mg。

2) 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

试验设计：Ⅰ组为对照组，饲喂不含抗生素的基础饲粮；Ⅱ组为抗生素组，饲喂在基础饲粮中添加 62.5 mg/kg 黄霉素的试验饲粮；Ⅲ、Ⅳ和Ⅴ组分别饲喂在基础饲粮中添加 300、600 和 900 mg/kg Zn-POS 的试验饲粮。

1.3 样品的采集与处理

试验第 42 天，每重复选取健康、接近平均体重的试鸡 2 只，每组 12 只，共 60 只，称活重后，颈静脉采血，静置后 3 000 r/min 离心 15 min，制备血清，分装于 EP 管中，−20 ℃冻存，待测血清生化指标；采血后将鸡完全放血处死，摘取免疫器官（脾脏、胸腺、法氏囊），去除结缔组织和脂肪，称重。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 生长性能指标

分别在试验第 21 天、第 42 天以重复为单位空腹称重，回收剩料，分别计算 21 和 42 日龄体

重（body weight,BW）、平均日增重（average daily gain,ADG）、平均日采食量（average daily feed intake,ADFI）和料重比（feed/gain,F/G）。

1.4.2　免疫器官指数

免疫器官指数（g/kg）=免疫器官的重量/屠体重。

1.4.3　血清生化指标

采用酶联免疫技术测定血清中的IgA、IgM、IgG以及补体3（C3）的水平，采用试剂盒（中生北控生物科技股份有限公司，北京），用Selectra-E全自动生化仪（Selectra-E型,VITA LAB仪器公司，荷兰）测定。血清抗氧化指标[总超氧化物歧化酶（T-SOD）、丙二醛（MDA）、过氧化氢酶（CAT）]采用试剂盒（南京建成生物工程研究所，南京），用紫外可见分光光度计（SPECORD–50，Analytik Jena公司，法国）测定。

1.5　统计分析

基本数据处理采用 Excel 2010，试验结果采用 SPSS 17.0 中的单因素方差分析（one-way ANOVA）程序进行，采用Duncan氏法进行多重比较，以平均值±标准误表示结果。

2　结　果

2.1　Zn-POS对肉仔鸡生长性能的影响

由表2可知，1~21日龄，与Ⅰ组相比，Ⅲ、Ⅳ组ADG显著提高（P<0.05），Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ组BW和ADFI有提高的趋势、F/G有降低的趋势，但差异不显著（P>0.05）；与Ⅱ组相比，Ⅲ、Ⅳ组BW显著提高（P<0.05），Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ组F/G有降低的趋势，但差异不显著（P>0.05）；Ⅱ组与Ⅰ组相比，ADG和ADFI显著提高（P<0.05）。

22~42日龄，与Ⅰ组相比，Ⅲ、Ⅳ组ADG显著提高（P<0.05），Ⅳ组ADFI显著提高（P<0.05）；与Ⅱ组相比，Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ组ADG和ADFI差异不显著（P>0.05）；Ⅱ组ADG和ADFI均高于Ⅰ组，但差异不显著（P>0.05）；Ⅲ组BW最高，但各组差异不显著（P>0.05）；各组F/G差异不显著（P>0.05）。

1~42日，与Ⅰ组相比，Ⅳ组ADG极显著提高（P<0.01），Ⅲ、Ⅴ组ADG均显著提高（P<0.05），Ⅳ组ADFI显著提高（P<0.05）；与Ⅱ组相比，Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ组ADG、ADFI差异不显著（P>0.05）；Ⅱ组ADG极显著高于Ⅰ组（P<0.01）、但ADFI差异不显著（P>0.05）；各组F/G和死亡率差异不显著（P>0.05）。

表2　饲粮添加不同水平Zn-POS对肉仔鸡生长性能的影响

Table 2　Effects of different dietary Zn-POS supplemental levels on growth performance of broilers

项目 Items	组别 Groups					P 值
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	*P*-value
1~21 日龄 1 to 21 days of age						
平均日增重 ADG/g	38.20±0.45^{a}	40.19±0.41^{b}	39.97±0.43^{b}	40.06±0.54^{b}	39.37±0.38^{ab}	0.017
平均日采食量 ADFI/g	56.16±0.63^{a}	58.54±0.50^{b}	58.12±0.62^{ab}	57.60±0.93^{ab}	56.78±0.48^{ab}	0.084
料重比 F/G	1.47±0.01	1.46±0.01	1.45±0.01	1.44±0.02	1.44±0.01	0.398
体重 BW/g	848.47±9.43^{ab}	842.78±16.14^{a}	879.03±8.70^{b}	880.97±10.23^{b}	872.92±7.94^{ab}	0.044
22~42 日龄 22 to 42 days of age						
平均日增重 ADG/g	63.33±0.88^{a}	67.44±1.13^{ab}	65.58±0.96^{b}	67.31±1.31^{b}	66.21±1.11^{ab}	0.071
平均日采食量 ADFI/g	108.59±2.26^{a}	113.09±1.65^{ab}	115.82±3.89^{ab}	117.86±3.71^{b}	116.79±2.22^{ab}	0.181
料重比 F/G	1.72±0.03	1.68±0.03	1.77±0.07	1.76±0.07	1.77±0.04	0.674
体重 BW/kg	2.24±0.03	2.23±0.03	2.30±0.05	2.25±0.02	2.26±0.03	0.515
1~42 日龄 1 to 42 days of age						
平均日增重 ADG/g	50.77±0.50^{Aa}	53.82±0.54^{Bb}	52.77±0.54^{ABb}	53.68±0.63^{Bb}	52.79±0.60^{ABb}	0.003
平均日采食量 ADFI/g	82.38±1.23^{a}	85.81±0.92^{ab}	86.97±2.06^{ab}	87.73±2.11^{b}	86.78±1.23^{ab}	0.156
料重比 F/G	1.59±0.06	1.57±0.01	1.61±0.04	1.59±0.03	1.60±0.02	0.842
死亡率 Mortality/%	10.22±3.01	8.44±2.43	5.46±1.58	11.75±2.95	7.64±1.79	0.432

同行数据肩标无字母或相同小写字母表示差异不显著（*P*>0.05），不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05），不同大写字母表示差异极显著（*P*<0.01），下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference（*P*>0.05）, while with different small letter superscripts mean significant difference（*P*<0.05）, and with different capital letter superscripts mean extremely significant difference （*P*<0.01）. The same as below.

2.2 Zn-POS 对肉仔鸡免疫功能的影响

由表 3 可知，Ⅰ组血清中 IgG 水平显著高于Ⅱ组（*P*<0.05）。与Ⅱ组相比，Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ组血清中 IgG 水平分别提高了 18.75%、12.50%和 18.75%（*P*>0.05），Ⅰ、Ⅳ组血清中 IgA 水平高于Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ组，但均未达到显著水平（*P*>0.05）。饲粮添加 Zn-POS 对 1~42 日龄 AA 肉仔鸡血清中 IgM 和 C3 水平有提高的趋势，但差异不显著（*P*>0.05）。

表 3　饲粮添加不同水平 Zn-POS 对肉仔鸡血清免疫指标的影响

Table 3　Effects of different dietary Zn-POS supplemental levels on serum immune indices of broilers　g/L

项目 Items	组别 Groups					P 值
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	*P*-value
免疫球蛋白 A IgA	1.15±0.01	1.14±0.01	1.14±0.02	1.15±0.02	1.14±0.01	0.927
免疫球蛋白 G IgG	0.25±0.03^{b}	0.16±0.03^{a}	0.19±0.03^{ab}	0.18±0.03^{ab}	0.19±0.02^{ab}	0.175
免疫球蛋白 M IgM	0.14±0.00	0.14±0.00	0.14±0.01	0.14±0.01	0.14±0.01	0.668
补体 3 C3	0.79±0.02	0.80±0.00	0.79±0.01	0.79±0.01	0.79±0.01	0.926

由表 4 可知，II 组法氏囊指数显著高于 I 组（$P<0.05$）。饲粮添加 Zn-POS 有提高免疫器官指数的趋势，但与 I 、II 组相比，均没有达到显著水平（$P>0.05$），

表 4　饲粮添加不同水平 Zn-POS 对肉仔鸡免疫器官指数的影响

Table 4　Effects of different dietary Zn-POS supplemental levels on immune organ indices of broilers

项目 Items	组别 Groups I	 II	 III	 IV	 V	*P* 值 *P*-value
胸腺指数 Thymus index	1.00±0.06	1.15±0.11	1.05±0.07	1.06±0.05	1.02±0.05	0.623
脾脏指数 Spleen index	1.04±0.29	1.68±0.29	1.30±0.18	1.54±0.38	1.68±0.21	0.422
法氏囊指数 Bursa of Fabricius index	$0.19±0.07^{a}$	$0.46±0.07^{b}$	$0.33±0.10^{ab}$	$0.40±0.03^{ab}$	$0.33±0.08^{ab}$	0.123

2.3　Zn-POS 对肉仔鸡血清抗氧化功能的影响

由表 5 可知，与 I 组相比，III组极显著提高了血清 T-SOD 活性（$P<0.01$）、显著降低了血清 MDA 含量（$P<0.05$）、显著提高了血清 CAT 活性（$P<0.05$），V 组血清 CAT 活性也显著提高（$P<0.05$）。III组血清 T-SOD 活性显著高于IV组（$P<0.05$）。IV、V 组血清 MDA 含量显著低于III组（$P<0.05$）。各 Zn-POS 组与 II 组血清抗氧化指标差异均不显著（$P>0.05$）。

表 5　饲粮添加不同水平 Zn-POS 对肉仔鸡血清抗氧化指标的影响

Table 5　Effects of different dietary Zn-POS supplemental levels on serum antioxidant indices of broilers

项目 Items	组别 Groups I	 II	 III	 IV	 V	*P* 值 *P*-value
总超氧化物歧化酶 T-SOD/（U/mL）	96.83 $±13.80^{Aa}$	135.89 $±18.25^{ABab}$	172.13 $±13.02^{Bb}$	112.3 $±18.23^{ABa}$	122.97 $±21.03^{ABab}$	0.036
丙二醛 MDA/（nmol/mL）	16.61 $±1.38^{a}$	18.0 $±1.11^{ab}$	20.67 $±1.79^{b}$	17.00 $±0.74^{a}$	16.09 $±0.81^{a}$	0.083
过氧化氢酶 CAT/（U/mL）	4.22 $±0.15^{a}$	5.94 $±0.70^{ab}$	6.53 $±0.90^{b}$	5.76 $±0.54^{ab}$	4.68 $±0.28^{b}$	0.040

3　讨　论

Zn-POS 对肉仔鸡的作用机制可能分为两方面：一方面，Zn-POS 中的果胶寡糖能被肠道有益菌如双歧杆菌等选择性发酵利用产生短链脂肪酸，从而降低肠道 pH，抑制有害菌的黏附与增殖，促进营养物质的消化吸收；另一方面，Zn-POS 中的果胶寡糖通过离子键和共价键与金属微量元素形成复合物，能促进金属微量元素的吸收。Zn-POS 的锌元素是畜禽体内许多消化酶的重要组成部分，具有促进生长、提高免疫等重要的生理功能。

3.1　Zn-POS 对肉仔鸡生长性能的影响

研究表明，果胶寡糖一方面能够被消化道后部微生物如双歧杆菌、乳酸杆菌利用发酵产生短链脂肪酸，降低肠道 pH，直接抑制病原微生物，促进营养物质的消化吸收；另一方面可以与金

属微量元素通过共价键和离子键形成稳定的复合物，促进金属微量元素吸收利用[1]。金月等[19]研究发现，添加含锌 30 mg/kg 的壳寡糖螯合锌能显著提高小白鼠 ADFI 和 ADG，F/G 也显著降低。孙丽娜等[11]研究发现，在小鼠饲粮中添加果胶寡糖铜螯合物，小鼠的采食量变化不显著，但促生长效果优于 $CuSO_4$ 且优于果胶寡糖与 $CuSO_4$ 的混合物。易中华等[20]研究结果表明，0.25%和 0.50%果寡糖可显著提高肉鸡 ADG 和 ADFI，且 1~3 周饲养效果优于 3~6 周，其中 0.50%果寡糖提高肉鸡 1~3 周 ADG 最大幅度为 14.64%。于桂阳等[21]发现饲粮添加 0.5、1.0 和 1.5 g/kg 甘露寡糖对肉鸡采食量无显著影响，但添加 1.0 和 1.5 g/kg 甘露寡糖能显著提高 ADG 分别达 8.89%和 6.67%，且 1.0 g/kg 组显著降低 F/G 达 5.75%。郭云贵等[22]在三黄鸡基础饲粮中添加不同剂量的甘露寡糖，结果表明，添加 4 g/kg 甘露寡糖能显著提高肉仔鸡 ADG，有降低料重比的趋势。本试验结果表明在饲粮中添加 600 mg/kg Zn-POS 可显著提高 AA 肉仔鸡的 ADG 和 ADFI，与上述结果基本一致。

3.2　Zn-POS 对肉仔鸡免疫功能的影响

研究表明，寡糖能与一些毒素、病毒、真核细菌的表面结合，然后作为这些外源抗原的佐剂，提高 B 淋巴细胞介导的体液免疫功能和 T 淋巴细胞介导的细胞免疫功能。寡糖能够促进双歧杆菌等有益菌增殖，提高动物免疫力。寡糖还能够作用于特异性非特异免疫系统，激活免疫系统[23-24]。王吉潭等[25]研究发现添加半乳甘露寡糖与添加抗生素相比，胸腺、脾脏和法氏囊相对重量差异不显著，但脾脏和法氏囊的相对重量有提高的趋势。金月等[19]研究表明，添加 40 mg/kg（以锌计）的壳寡糖螯合锌能显著提高蛋用仔鸡胸腺、脾脏和法氏囊等免疫器官指数。陈绍红等[26]研究报道，饲粮中添加 0.2%和 0.3%的寡糖分别提高肉鸡胸腺指数、法氏囊指数和脾脏指数达 16.41%、2.62%、25.53%和 2.65%、11.07%、1.65%，且具有提高白细胞吞噬指数和血清 IgG 水平的趋势，同时可显著提高鸡血清新城疫抗体滴度。高林[27]研究发现不同添加量的甘露寡糖对肉鸡的免疫功能及免疫器官指数均具有一定的影响，对血清中 IgA、IgG、IgM 和 C3、补体 4（C4）以及白细胞介素–2 水平的提高有一定的促进作用。本试验研究结果表明，Zn-POS 添加水平对肉仔鸡血清中 IgA、IgG、IgM 和 C3 水平没有显著影响，但有提高 IgG 水平的趋势；Zn-POS 添加水平有提高 AA 肉仔鸡免疫器官指数的趋势，但与对照组比较差异不显著，这与上述试验结果有差异，可能与寡糖的种类、添加水平、试验鸡的品种等因素有关。

3.3　Zn-POS 对肉仔鸡血清抗氧化功能的影响

研究表明，寡糖具有较强的抗氧化能力，能够有效清除体内的自由基和毒素。Ngo 等[28]研究证明了几丁寡糖有抑制蛋白质的氧化作用。Li 等[29]和杜丽娟等[30]的研究结果表明，山楂果胶寡糖能显著抑制过氧化产物 MDA 的含量，改善高脂食小鼠血清中超氧化物歧化酶的生物活性，也可以在离体条件下较好的清除超氧阴离子自由基和羟自由基。Chen 等[31]报道，每天将大豆寡糖以 450 mg/kg 剂量灌胃，能显著提高大鼠血清中 CAT、谷胱甘肽过氧化物酶和超氧化物歧化酶的生物活性，并且将硫代巴比妥酸反应产物减少，能防止组织和细胞发生氧化应激作用。本试验结

果表明，饲粮中添加 Zn-POS 能显著提高血清中 T-SOD 和 CAT 活性，显著降低血清中 MDA 的含量，与上述研究结果一致。

4 结 论

① 在 1~42 日龄 AA 肉仔鸡饲粮中添加 Zn-POS 能改善生长性能，提高免疫功能和血清抗氧化功能。其中，添加 600 mg/kg Zn-POS 促生长效果与添加 62.5 mg/kg 黄霉素效果相当。

② 1~42 日龄 AA 肉仔鸡饲粮中 Zn-POS 的适宜添加水平为 600 mg/kg。

参考文献：

[1] 董向艳,彭晴,EROMOSELE O,等.寡聚半乳糖醛酸生物活性研究进展[J].核农学报,2014,28(6):1076–1082.

[2] 王江浪.苹果果胶低聚糖的酶法制备、分离及其抑菌活性研究[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2009.

[3] BISHOP P D,MAKUS D J,PEARCE G,et al.Proteinase inhibitor-inducing factor activity in tomato leaves resides in oligosaccharides enzymically released from cell walls[J].Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,1981,78(6):3536–3540.

[4] 王丹波.果胶低聚糖的酶法制备及应用研究[D].硕士学位论文.杭州:浙江工业大学,2006.

[5] GARTHOFF J A,HEEMSKERK S,HEMPENIUS R A,et al.Safety evaluation of pectin-derived acidic oligosaccharides (pAOS):genotoxicity and sub-chronic studies[J].Regulatory Toxicology and Pharmacology,2010,57(1):31–42.

[6] FANARO S,MARTEN B,BAGNA R,et al.Galacto-oligosaccharides are bifidogenic and safe at weaning:a double-blind randomized multicenter study[J].Journal of pediatric gastroenterology and nutrition,2009,48(1):82–88.

[7] OLANO-MARTIN E,GIBSON G R,RASTALL R A.Comparison of the *in vitro* bifidogenic properties of pectins and pectic-oligosaccharides[J].Journal of Applied Microbiology,2002,93(3):505–511.

[8] RHOADES J,MANDERSON K,WELLS A,et al.Oligosaccharide-mediated inhibition of the adhesion of pathogenic *Escherichia coli* strains to human gut epithelial cells *in vitro*[J].Journal of Food Protection,2008,71(11):2272–2277.

[9] THOMASSEN L V,VIGSNÆS L K,LICHT T R,et al.Maximal release of highly bifidogenic soluble dietary fibers from industrial potato pulp by minimal enzymatic treatment[J].Applied Microbiology and Biotechnology,2011,90(3):873–884.

[10] NAKANISHI N,KITADA Y.Mineral absorption promoting agent:US,5952308[P].1999-09-14.

[11] 孙丽娜.寡聚半乳糖醛酸的酶解制备及其铜螯合物对小鼠生长特性的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2007.

[12] GULLÓN B,GÓMEZ B,MARTÍNEZ-SABAJANES M,et al.Pectic oligosaccharides:manufacture and functional properties[J].Trends in Food Science & Technology,2013,30(2):153–161.

[13] 袁涛,张伟力,吴宏忠,等.低聚糖在动物营养学上的研究进展[J].粮食与饲料工业,2003(5):26–

27.
[14] 宋逸成,赵虎祥.饲用低聚糖对动物的特殊作用[J].兽药与饲料添加剂,2000,5(2):34.
[15] FENG J,MA W Q,NIU H H,et al.Effects of zinc glycine chelate on growth,hematological,and immunological characteristics in broilers[J].Biological Trace Element Research,2010,133(2):203–211.
[16] 蒋宗勇,刘小雁,蒋守群,等.1~21 日龄黄羽肉鸡锌需要量的研究[J].动物营养学报,2010,22(2):301–309.
[17] 田丽娜,朱风华,任慧英,等.纳米氧化锌对肉仔鸡抗氧化性能的影响[J].动物营养学报,2009,21(4):534–539.
[18] 刘西萍,隋美霞,徐中相,等.微量元素锌及不同锌源在畜禽营养上的研究进展[J].中国畜牧兽医,2014,41(6):94–98.
[19] 金月.壳寡糖螯合锌的制备及其营养功能的比较研究[D].硕士学位论文.大连:辽宁师范大学,2011.
[20] 易中华,胥传来,陈旭东,等.低寡糖含量饲粮中添加果寡糖对肉鸡生产性能的影响[J].中国家禽,2004,26(16):15–17.
[21] 于桂阳,郑春芳,覃开权,等.甘露寡糖对肉鸡生长性能的影响[J].家禽科学,2009(9):36–37.
[22] 郭云贵,朱惠霞,唐业刚,等.甘露寡糖对三黄鸡生长性能及血脂代谢的影响[J].江苏农业科学,2011,39(4):245–247.
[23] 凌宝明,瞿明仁,卢德勋.功能性寡糖的免疫学功能及其作用机理[J].广东饲料,2005,14(1):29–30.
[24] 覃春富,孙鹏,张佩华,等.功能性寡糖对动物免疫功能影响的研究进展[J].华北农学报,2012,27(增刊):421–424.
[25] 王吉潭,李德发,龚利敏,等.半乳甘露寡糖对肉鸡生产性能和免疫机能的影响[J].中国畜牧杂志,2003,39(2):5–7.
[26] 陈绍红,万江虹,黄银姬,等.寡糖对三黄鸡生产性能及免疫机能的影响[J].湛江海洋大学学报,2005,25(3):76–78.
[27] 高林.甘露寡糖对肉鸡免疫性能的影响[J].农业科技与装备,2015(4):56–58.
[28] NGO D N,KIM M M,KIM S K.Chitin oligosaccharides inhibit oxidative stress in live cells[J].Carbohydrate Polymers,2008,74(2):228–234.
[29] LI T P,LI S H,DU L J,et al.Effects of haw pectic oligosaccharide on lipid metabolism and oxidative stress in experimental hyperlipidemia mice induced by high-fat diet[J].Food Chemistry,2010,121(4):1010–1013.
[30] 杜丽娟,李拖平,王娜,等.山楂果胶分解物抗氧化作用研究[J].食品研究与开发,2009,30(6):18–20.
[31] CHEN H,LIU L J,ZHU J J,et al.Effect of soybean oligosaccharides on blood lipid,glucose levels and antioxidant enzymes activity in high fat rats[J].Food Chemistry,2010,119(4):1633–1636.

Effects of Different Dietary Zinc-Pectic Oligosaccharide Chelate Supplemental Levels on Growth Performance, Immune Function and Serum Antioxidant Capacity of Broilers

WANG Zhongcheng[1] WU Xuezhuang[2] CUI Hu[1] WAN Chunmeng[1] ZHANG Tietao[3] PENG Qing[1] YU Huimin[1*] GAO Xiuhua[1*]

(1. *Key Laboratory for Feed Biotechnology of the Ministry of Agriculture*, *Institute of Feed Research*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100081, *China*; 2. *School of Agriculture and Technology*, *Zunyi Normal College*, *Zunyi* 563002, *China*; 3. *Institute of Special Animal and Plant Sciences*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Changchun* 130112, *China*）

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of different dietary zinc-pectic oligosaccharide chelate (Zn-POS) supplemental levels on growth performance, immune function and serum antioxidant capacity of Arbor Acre (AA) broilers. A total of 480 one-day-old AA broilers were randomly divided into 5 groups with 6 replicates per group and 16 chicks per replicate. Group Ⅰ was a basal diet group, group Ⅱ was the antibiotics group, and groups Ⅲ, Ⅳ and Ⅴ were Zn-POS groups, which supplemented with 300, 600 and 900 mg/kg Zn-POS, respectively. The whole experiment lasted for 42 d. The results showed as follows: 1) from 1 to 21 days of age, compared with group Ⅰ, the average daily gain was significantly increased in groups Ⅲ and Ⅳ (P<0.05). Compared with group Ⅱ, the body weight in groups Ⅲ and Ⅳ was significantly increased (P<0.05). From 22 to 42 days of age, compared with group Ⅰ, the average daily gain in groups Ⅲ and Ⅳ was significantly increased (P<0.05), and the average daily feed intake in group Ⅳ was significantly increased (P<0.05). From 1 to 42 days of age, compared with group Ⅰ, the average daily gain in group Ⅳ was extremely significantly increased (P<0.01), the average daily gain in groups Ⅲ and Ⅴ was significantly increased (P<0.05), and the average daily feed intake in group Ⅳ was significantly increased (P<0.05). The average daily gain in group Ⅱ was extremely significantly higher than that in group Ⅰ (P<0.01). 2) Compared with group Ⅰ, the bursa of Fabricius index in group Ⅱ was significantly improved (P<0.05), but the serum immunoglobulin G (IgG) level in group Ⅱ was significantly decreased (P<0.05). 3) Compared with group Ⅰ, the serum total superoxide dismutase activity in group Ⅲ was significantly increased (P<0.05), and the serum catalase activity in groups Ⅲ and Ⅴ was significantly increased (P<0.05), too. Compared with group Ⅲ, the serum malondialdehyde content was significantly decreased in groups Ⅳ and Ⅴ (P<0.05). In conclusion, dietary Zn-POS supplementation can improve the growth performance, immune function and serum antioxidant capacity of AA broilers from 1 to 42 days of age, and the optimum supplemental level is 600 mg/kg.

Key words: Zn-POS; growth performance; immune function; serum antioxidant capacity; AA broilers

---

*Corresponding authors: YU Huimin, professor, E-mail: yuhuiming@caas.cn; GAO Xiuhua, professor, E-mail: gaoxiuhua@caas.cn (责任编辑 田艳明)